

LA SISMOLOGÍA 1: LOS TERREMOTOS.

Los terremotos, que ocurren cuando la energía elástica almacenada en las rocas se libera repentinamente, generan ondas sísmicas de cuyo estudio se puede deducir la estructura del interior de la Tierra. La Sismología, rama de la Geofísica que estudia los terremotos, se sirve de los sismogramas, registros obtenidos en sismógrafos, como datos de observación para deducir la estructura y las características de zonas totalmente inaccesibles a la observación directa. La mayor parte de los terremotos son debidos al deslizamiento repentino de dos grandes masas de rocas a lo largo de fracturas, que denominamos fallas. El deslizamiento puede producirse de manera lenta, de modo que la energía acumulada se libera progresivamente originando muchos terremotos pequeños, o bien de manera brusca, produciendo un solo terremoto, pero de mayor magnitud, ya que se libera mayor cantidad de energía. En general, se asume que el terremoto se origina en un punto del interior de la Tierra denominado foco o hipocentro, que se localiza desde niveles superficiales hasta profundidades máximas que oscilan alrededor de 700 km. La proyección vertical del hipocentro en la superficie de la Tierra es el epicentro. Por ello, cuando queremos describir la localización de un terremoto, damos su epicentro y su profundidad, además del tiempo origen, que es aquel en que el terremoto comenzó a ocurrir (Ilustración 2). Lo que percibe el ser humano son los efectos de los terremotos, su capacidad de destruir. Por ello existen desde hace tiempo escalas de intensidad referidas a la descripción de los efectos de un terremoto (Tabla 2). La intensidad no nos indica la energía que libera un terremoto, sino simplemente el grado de destrucción que ha alcanzado en un punto determinado. Existe otro parámetro denominado magnitud, que es una medida física de la energía que libera el terremoto. La diferencia entre intensidad y magnitud la podemos ejemplificar pensando en la luz que produce una bombita de 100 vatios. Que la bombita sea de 100 vatios es una característica intrínseca que no depende de que la tengamos cerca o lejos, es decir, nos referiríamos a su magnitud. Por el contrario, la luz que recibimos de la bombita depende de si estamos cerca o lejos, lo que sería equivalente a la intensidad. De esta manera la magnitud puede medirse en función de la energía que se libera mientras que la intensidad depende de la distancia entre el foco y la localidad en la superficie de la tierra.

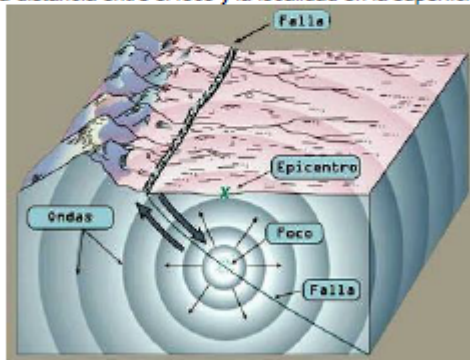


Ilustración 2: epicentro y foco de un terremoto.

Relación entre el epicentro y el hipocentro o foco de un terremoto. Se muestra, también, el frente de ondas que irradia en todas las direcciones a partir del foco del terremoto.

La magnitud de un terremoto se obtiene a partir de los sismogramas, en función de la escala de Richter. En 1935, el sismólogo Charles F. Richter (1900-1985), estudiando distintos sismogramas de diferentes terremotos, ideó la escala que lleva su nombre en base a una fórmula logarítmica. Esto significa que entre un terremoto de magnitud 8,0 y uno de magnitud 7,0 las ondas tienen una amplitud 10 veces mayor siendo el daños causado muy alto. A pesar de que de la fórmula se desprende que la magnitud de un terremoto no tiene un límite superior, no se han registrado terremotos de magnitud superior a 9,0, ya que esto implicaría un movimiento de masas mayor de lo que es posible en la Tierra. Esta escala ha sido adoptada universalmente, aunque existen otras escalas que se utilizan a nivel local o para determinados tipos de terremoto.

Los terremotos no se distribuyen al azar, sino que se localizan en determinadas zonas donde, actualmente, se produce deformación de los materiales de las capas más superficiales del planeta. Su estudio es, además, de gran importancia para determinar el riesgo sísmico de una zona y poder predecir su ocurrencia, para de esta forma evitar las catástrofes que en muchos casos llevan asociadas. Aunque los terremotos son fenómenos naturales, podemos generar terremotos controlados, ciertamente de magnitud muy pequeña, mediante el uso de explosiones artificiales. Este método se utiliza para estudiar las capas más superficiales de la Tierra y, muy particularmente, en la exploración de recursos naturales (por ejemplo, exploración de hidrocarburos).

CIENCIAS DE LA TIERRA.

LA DERIVA CONTINENTAL.

A comienzos de 1912, el científico alemán Alfred Lothar Wegener (1880-1930) presentó la teoría de la deriva continental, en la que los continentes actuales estuvieron unidos hace unos 200 millones de años en un único continente, que este autor denominó Pangea. En realidad se trataba de dos grandes masas continentales: Gondwana, localizada en el hemisferio Sur, y Laurasia, en el hemisferio Norte (Ilustración 9).

Ilustración 9: rotura de Pangea.



En la Ilustración 9,1 se muestra la probable distribución de los continentes hace 200 millones de años (finales del Paleozoico-inicios del Mesozoico). Los continentes estaban distribuidos en dos grandes masas continentales: Laurasia, en el hemisferio Norte, y Gondwana, en el hemisferio Sur. En la Ilustración 9,2, se muestra la distribución de los continentes a finales del Triásico, hace 180 millones de años, 20 millones de años después de iniciarse la rotura de Pangea. Se pueden ver las nuevas cuencas oceánicas que se van formando a medida

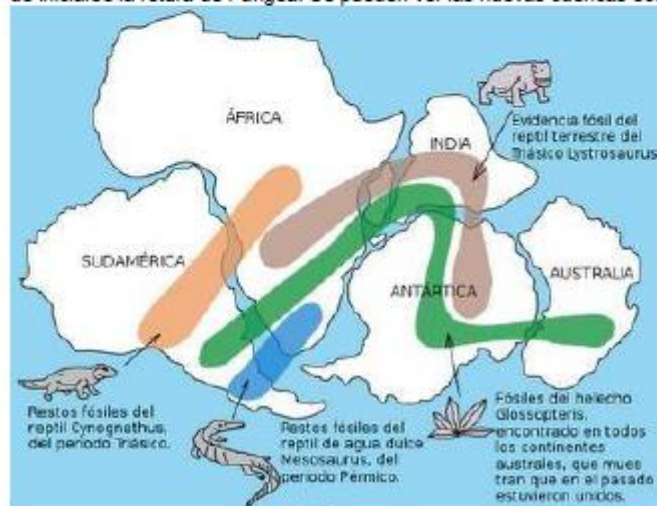


Ilustración 10: fósiles coincidentes.

que los continentes se separan. En la Ilustración 9,3 muestra la distribución de los continentes a finales del Jurásico, 65 millones de años después de la rotura de Pangea. Aquí se muestra suelo oceánico generado desde el Triásico hasta el Jurásico, es decir, durante un período de 45 millones de años. En la Ilustración 9,4 se ve la distribución de las masas continentales a finales del Cretácico, hace 65 millones de años, 135 millones de años después de la rotura de Pangea. Se nota el gran suelo oceánico generado hasta el Cretácico. La Ilustración 9,5 es la distribución actual. Estas masas continentales se rompieron en distintos fragmentos (los actuales continentes) que se desplazaron progresivamente hasta ocupar las posiciones que observamos en la actualidad.

Para elaborar esta teoría, Wegener se basó en distintos tipos de datos, entre los que se destacan: 1) Datos geográficos: los contornos de los continentes encajan como piezas de un rompecabezas, especialmente en lo que se refiere a las costas de África y América. 2) Datos paleontológicos: se observa una coincidencia casi completa de muchos fósiles anteriores a la separación continental, mientras que, tras la fragmentación de esta masa continental, los fósiles descendientes muestran una evolución diversificada al quedar aislados en continentes distintos. 3) Datos tectónicos: en general, para que una placa litosférica pueda ser definida como tal, todos sus límites tienen que ser activos. Es decir, tienen que existir evidencias de movimientos actuales o recientes entre la placa y las placas colindantes. A pesar de las evidencias presentadas, Wegener no pudo encontrar un mecanismo razonable que permitiera explicar que los continentes se movían unos con respecto a otros por lo que su teoría fue desacreditada por algunos científicos. A partir de la década de 1960, los avances de la Oceanografía permiten el estudio sistemático del fondo de los océanos y aportan datos que confirman las ideas propuestas por Wegener, aunque se establece que no son los continentes los que se mueven, sino que los grandes bloques litosféricos arrastran las masas continentales. La exploración del fondo de los océanos que evidenciaban que los océanos no eran estables y ni permanentes sino que existe un sistema de cordilleras o dorsales oceánicas y una serie de valles o depresiones centrales asociadas a una importante actividad volcánica y sísmica. Por otro lado, la edad de la corteza oceánica y los sedimentos marinos variaba en función de la

CIENCIAS DE LA TIERRA.

distancia al eje de la dorsal, de forma que la edad de estos materiales es muy reciente en áreas próximas a la dorsal, mientras que en zonas alejadas de ella la edad de los sedimentos más profundos y de la corteza oceánica es más antigua. Además de estos datos. La localización de los terremotos permitió observar que la mayor parte de la actividad sísmica del planeta se concentra a lo largo de bandas estrechas que, como se descubrió posteriormente, coincidían con los límites de placas (Ilustración 13). Todos estos datos indujeron al geólogo

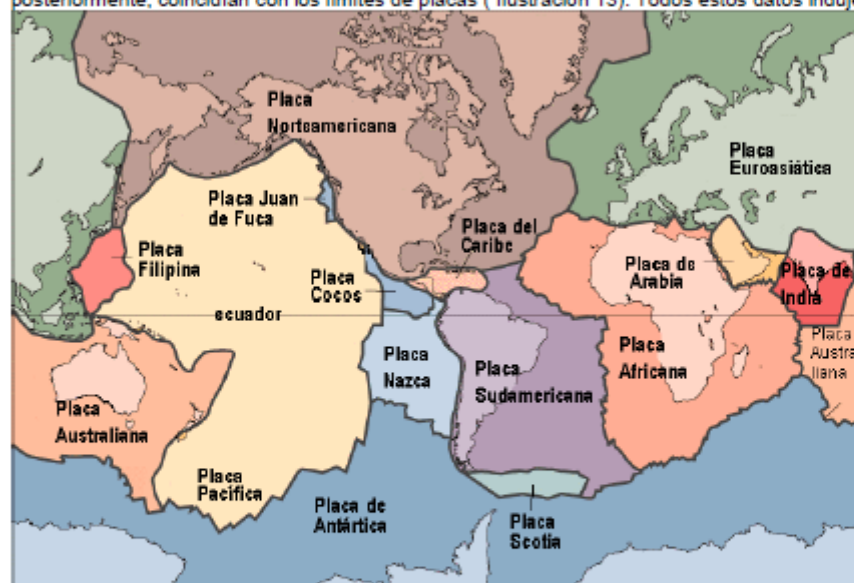


Ilustración 11: placas tectónicas.

La distribución actual de las placas litosféricas se muestra en la Ilustración 11. Observamos que la capa más externa y rígida de la Tierra -la litosfera- está dividida en un mosaico de ocho grandes placas: 1) la Pacífica, 2) la Eurasiática, 3) la Norteamericana, 4) la Sudamericana, 5) la Indoaustraliana, 6) la Africana, 7) la Antártica y 8) la de Nazca. Además, se distingue un conjunto de placas de menor tamaño, entre las que se destacan la: 9) Arábiga, 10) Caribe, 11) Cocos, 12) Scotia. Existe un número de pequeñas placas o microplacas (por ejemplo, la placa Juan de Fuca) y algunos fragmentos de placas de límites algo imprecisos. De las ocho grandes placas, la placa Pacífica y la placa de Nazca están formadas, básicamente, por litosfera oceánica, mientras que la placa Eurasiática está formada, en gran parte, por litosfera continental aunque también contiene litosfera oceánica; el resto de las placas están formadas por litosfera oceánica y continental (Ilustración 11).

norteamericano Harry H. Hess, en 1962, a proponer la hipótesis de la expansión del suelo oceánico. Según este autor, en el manto terrestre existe un movimiento convectivo que fuerza la salida de material del manto en las dorsales oceánicas, formando nueva corteza oceánica que, finalmente, desaparece en las fosas cercanas a los bordes continentales.

CIENCIAS DE LA TIERRA.

LA TECTÓNICA GLOBAL O TECTÓNICA DE PLACAS.

La tectónica global o tectónica de placas permite interpretar simultáneamente la deriva de los continentes y la expansión del fondo oceánico en una síntesis que engloba la mayor parte de los procesos de la dinámica de la Tierra. La teoría propone que la litosfera está dividida en una serie de bloques rígidos, cuyo grosor medio es de unos 120 km bajo los continentes y 85 km bajo los océanos, denominados placas litosféricas, que se mueven unos con respecto a otros sobre la astenosfera. Esta interacción ocasiona que: 1) La formación de nueva litosfera ocurre por expansión del suelo oceánico; es decir, en las dorsales oceánicas se genera nueva litosfera oceánica. 2) La litosfera oceánica generada pasa a formar parte de una placa litosférica que puede o no incluir litosfera continental. 3) La superficie de la Tierra permanece constante; esto implica que la litosfera nueva generada en las dorsales debe compensarse por destrucción de la misma en las zonas de subducción. 4) El movimiento relativo entre las placas se hace patente, básicamente, en sus límites. De hecho, los terremotos actuales se distribuyen a lo largo de cinturones bien delimitados que se corresponden con los límites de estas placas. Actualmente existen tres tipos de bordes o límites de placas litosféricas: 1) Bordes divergentes o constructivos: zonas de tensión, donde las placas se separan. 2) Bordes convergentes o destructivos: zonas donde se produce colisión entre dos placas. 3) Bordes transformantes: zonas donde una placa se desplaza lateralmente respecto de la otra. Los bordes divergentes o de expansión, son zonas donde las placas se separan, generando nueva litosfera oceánica. En estas zonas, representadas por las dorsales oceánicas, se concentra la mayor parte de la actividad volcánica del planeta. La importancia del vulcanismo queda de manifiesto cuando se considera el hecho de que una gran parte de la litosfera oceánica actual se ha generado a lo largo de las dorsales oceánicas durante los últimos 200 millones de años. Estas zonas se caracterizan, además, por una importante actividad sísmica, localizada a profundidades inferiores a los 70 km, y por su elevado flujo de calor. Un ejemplo es la dorsal centro atlántica que separa las placas norteamericana y sudamericana de las placas Euroasiáticas y Africana. Los bordes convergentes son zonas donde se produce colisión entre dos placas. Se trata de bordes de placa con una gran actividad ígnea, sísmica y con una importante deformación a escala litosférica. Los procesos geológicos que ocurren en estas zonas dependen del tipo de litosfera que converge: 1) Si una placa oceánica y una placa continental colisionan, la placa oceánica, más densa que la continental, se introduce bajo ésta y desciende penetrando en el manto, en un proceso denominado subducción. En estas zonas, los terremotos se localizan a profundidades que oscilan entre los 70-300 km (terremotos intermedios) y entre 300-700 km (terremotos profundos), lo cual demuestra que una de las placas penetra hacia el interior de la astenosfera y del manto terrestre. 2) Si colisionan dos placas oceánicas, cualquiera de las dos placas puede hundirse en la astenosfera y el manto. 3) Si las placas son continentales, aunque una pueda introducirse ligeramente bajo la otra en general ambas masas continentales se deforman y comprimen formando montañas. Ej Alpes.

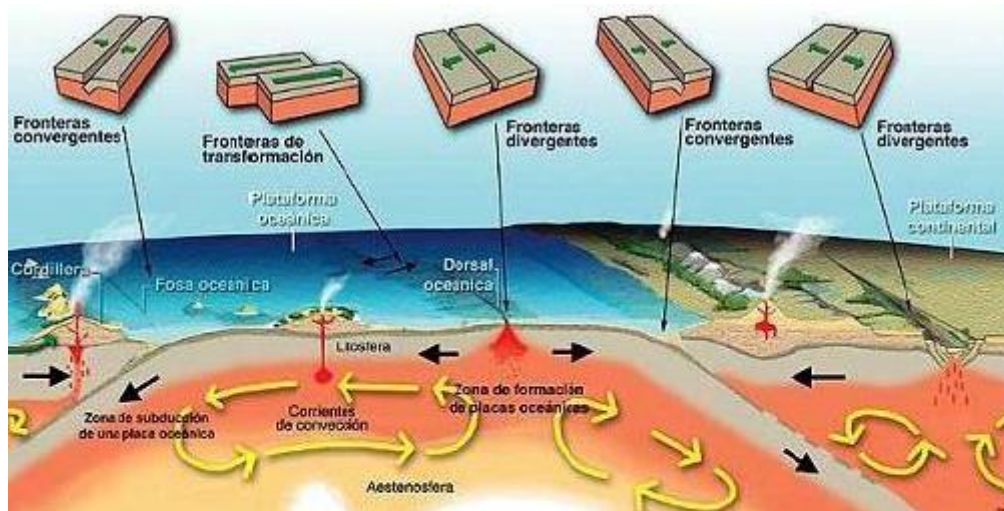
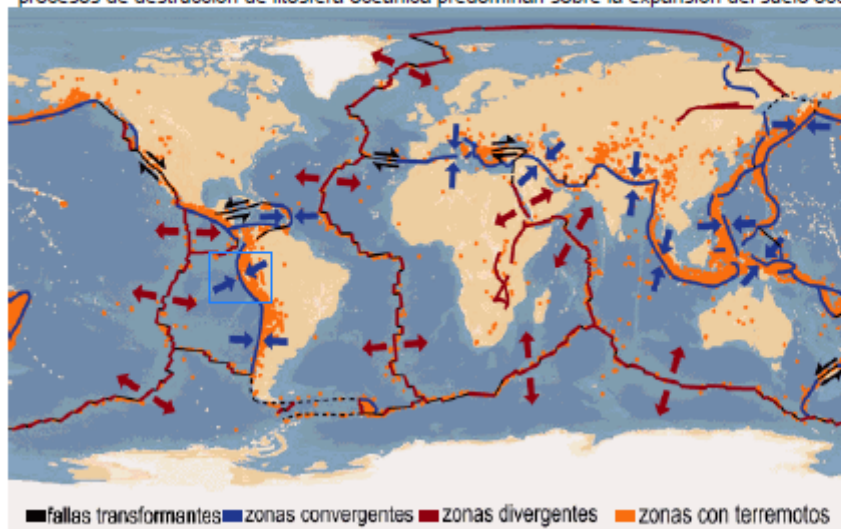


Ilustración 12: tipos de bordes.

Los bordes transformantes son zonas donde se produce desplazamiento lateral o deslizamiento entre las placas a lo largo de fallas de transformación, es decir, no se genera ni destruye litosfera (Ilustración 12). El desplazamiento lateral entre las placas produce una fuerte fricción, que provoca una gran actividad sísmica. El ejemplo más conocido es el margen occidental de América del Norte, desde el golfo de California hasta San Francisco, limitado por la falla de San Andrés. En la Ilustración 13 puede verse los distintos movimientos de las placas, lo que demuestra que las dimensiones, distribución y movimientos relativos ha variado considerablemente durante los últimos 200 millones de años y seguirá variando en el futuro. Las placas no son permanentes, están en continuo movimiento y cambian constantemente de forma y tamaño. El ciclo de Wilson permite explicar la redistribución de las placas litosféricas en distintos periodos de la historia geológica de la Tierra. El ciclo se inicia con la rotura del supercontinente y formación de un nuevo océano. Este se expande por rotura de

CIENCIAS DE LA TIERRA.

una masa continental y formación de nueva litosfera en las dorsales oceánicas (Ilustración 14). Sin embargo, la expansión del suelo oceánico no puede ser indefinida, ya que la superficie de la Tierra se mantiene constante; de ahí que, inevitablemente, durante la vida de un océano se inicien procesos de subducción. Cuando estos procesos de destrucción de litosfera oceánica predominan sobre la expansión del suelo oceánico, el océano



se cierra hasta que finalmente los bloques continentales situados a ambos lados del océano colisionan formando un único continente. El movimiento de las placas basa en la idea de que en la astenosfera existen corrientes de convección asociadas a diferencias de temperatura.

Ilustración 13: desplazamiento de placas.

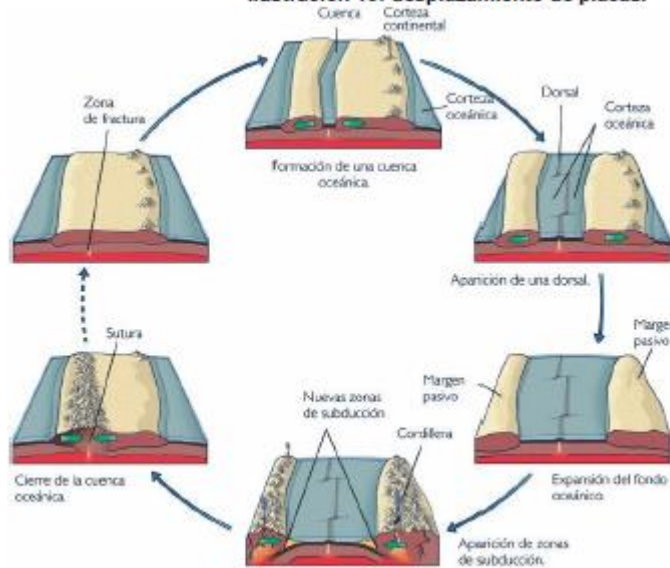


Ilustración 14: ciclo de Wilson.

Se supone que las corrientes ascendentes de material más caliente originan la rotura de los bloques continentales, la salida de materiales de la astenosfera y, finalmente, la expansión del fondo de los océanos. Por otro lado, las corrientes descendentes provocan la aparición de las fosas oceánicas y la subducción de las placas, mientras que las corrientes horizontales actuarían a modo de cintas transportadoras de las placas litosféricas (Ilustración 12).

CIENCIAS DE LA TIERRA.

DE LOS MINERALES A LOS TRES TIPOS DE ROCAS.

Las rocas son agregados o asociaciones naturales de minerales formados bajo un mismo proceso. Una roca puede estar formada por un solo mineral (por ejemplo, yeso, caliza) o bien por varios minerales (por ejemplo, granito, basalto). Si falta uno de los minerales esenciales, se tratará de otro tipo de roca o bien de una variedad de ella. En el granito, por ejemplo, los minerales esenciales son el cuarzo, el feldespato potásico, la plagioclasa y la mica negra o biotita. La ausencia de uno de estos minerales implica que la roca no pueda ser considerada como un granito. Existen otros minerales, denominados accesorios, que no modifican la naturaleza de la roca, y pueden faltar o estar presentes sin que por ello deba ser considerada como otro tipo de roca. En la litosfera terrestre se pueden distinguir tres grandes tipos de rocas clasificadas según las condiciones fisicoquímicas que predominan durante su formación: 1) Rocas ígneas o magmáticas: formadas a temperaturas entre moderadas y altas y un amplio rango de presiones, pero que implican fusión; estas rocas se originan por la solidificación, en profundidad o en superficie, de materiales fundidos del manto y la corteza terrestre. 2) Rocas metamórficas: formadas en un amplio rango de presiones y temperaturas, pero sin existir fusión; son el resultado de la transformación de rocas preexistentes debido a cambios en las condiciones de presión y temperatura. 3) Rocas sedimentarias: formadas en condiciones superficiales, a bajas temperaturas y presiones próximas a la atmosférica; se originan a partir de los productos resultantes de la denudación del relieve topográfico.

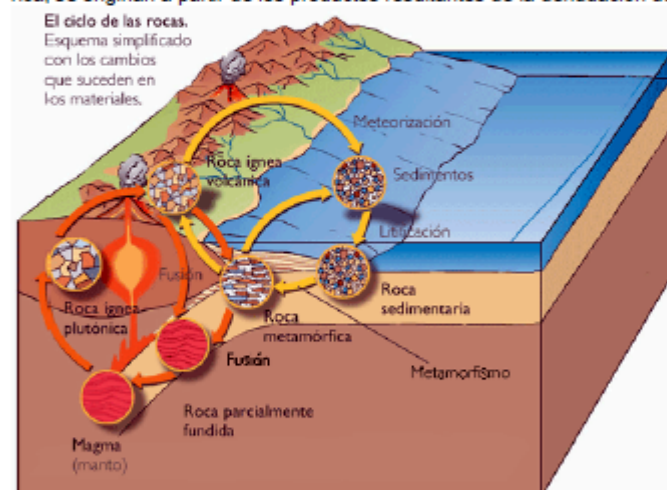


Ilustración 18: ciclo de las rocas.

Si estas rocas se hunden hacia zonas más profundas de la corteza, pierden su estabilidad que dan lugar a las rocas metamórficas. Si estas rocas regresan a la superficie, serán susceptibles de ser erosionadas y entrar en un nuevo ciclo sedimentario. Por el contrario si estas rocas ingresan en la zona de subducción se fundirán transformándose en magma. Si este material es expulsado por un volcán hacia la superficie terrestre, su solidificación origina las rocas ígneas extrusivas o volcánicas, que estarán expuestas a erosión y, por consiguiente, a entrar en un nuevo ciclo. Si el material fundido queda atrapado en el interior de la corteza y solidifica, se originan las rocas ígneas intrusivas que son susceptibles de entrar en un nuevo ciclo si se produce levantamiento y erosión de la columna de rocas suprayacentes. A pesar de la simplificación que hemos utilizado en este esquema, vemos cómo la actividad en los bordes de placas desempeña un papel muy importante en el reciclaje y la producción de nuevo material litosférico, es decir, de las rocas.

Si la litosfera terrestre está sujeta a cambios, es lógico pensar que los materiales que la forman estén también sujetos a modificaciones de su estructura y composición. De hecho, la idea de que la mayoría de las rocas sufren modificaciones a lo largo del tiempo es la esencia del denominado ciclo o transformación de las rocas (Ilustración 18): en la superficie terrestre donde los procesos superficiales producen la destrucción del relieve origina los sedimentos que son transportados hacia zonas deprimidas, más o menos alejadas del área origen, donde se depositan. A medida que estos materiales se acumulan, se produce la compactación y cementación formándose las rocas sedimentarias.